

Zeitwahrnehmung in Abhängigkeit von der retinalen Exzentrizität

Annette Hollmann

Diss
München
1906



Aus dem Institut für Medizinische Psychologie der
Universität München

Vorstand: Prof. Dr. Ernst Pöppel

**Zeitwahrnehmung in Abhängigkeit von der
retinalen Exzentrizität**

Dissertation

zum Erwerb des Doktorgrades der Humanbiologie
an der Medizinischen Fakultät der
Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von
Annette Hollmann

aus München

1985

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter: Prof. Dr. E. Pöppel

Mitberichterstatter: Priv. Doz. Ulla Mitzdorf

Mitbetreuung durch den
promovierten Mitarbeiter:

Dekan: Prof. Dr. W. Spann

Tag der mündlichen Prüfung: 17. Januar 1986

Die vorliegende Arbeit wurde in der Zeit von März 1984 bis Oktober 1985 am Institut für Medizinische Psychologie der Ludwig-Maximilians-Universität München unter Betreuung von Herrn Prof. Dr. E. Pöppel angefertigt.

An dieser Stelle möchte ich ganz besonders Herrn Prof. Dr. Ernst Pöppel für die Betreuung und die Hilfe bei der Entstehung dieser Arbeit danken. Ganz herzlich möchte ich mich bedanken bei den Mitarbeitern des Instituts für Medizinische Psychologie, insbesondere bei Frau Gabriele Weiler für die große Hilfe mit "Lisa" und bei Herrn David Carr und Dr. Wolfgang Keeser, die mir mit vielen Ratschlägen bei der statistischen Auswertung zur Seite standen.

Diese Arbeit ist meinen Eltern gewidmet.

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Einleitung	1
1.1. Strukturelle Eigenschaften der Retina	1
1.2. Allgemeiner Überblick zum Thema "Zeitwahrnehmung"	4
1.3. Experimentelle Untersuchungen zum Thema "Zeitwahrnehmung"	6
2. Experimenteller Teil	13
2.1. Versuchspersonen	13
2.2. Beschreibung des Experiments	13
3. Auswertung und Ergebnisse der Zeitlängenschätzung	15
3.1. Multivariate Varianzanalyse	15
3.2. Vergleich der Mittelwerte	15
3.3. Der Zeitschätzfehler als Maß für die Genauigkeit, mit der die zeitlichen Reize reproduziert wurden	20
3.2.1. Der absolute Zeitschätzfehler (als pro- zentualer Anteil vom Stimulusintervall)	20
3.2.2. Der prozentuale Zeitschätzfehler (unter Berücksichtigung ob der Fehler positiv oder negativ ist)	26
3.3. Vergleich der Variabilitätskoeffizienten	32
3.4. Zusammenfassung der Ergebnisse	39
4. Diskussion	40
5. Zusammenfassung	47
6. Literatur	48

1. Einleitung

1.1. Strukturelle Eigenschaften der Retina

Es ist seit längerem bekannt, daß die Empfindlichkeit der Retina, was das räumliche und das zeitliche Auflösungsvermögen betrifft, ausgehend von der Fovea zur Peripherie hin unterschiedlich ist. So wird bei Bestimmung der Lichtunterschiedsschwelle unter photopischen Bedingungen (Abb.1) der eben merkliche Zuwachs an Leuchtdichte gegenüber einem stationären Grundlicht in der Peripherie schlechter wahrgenommen (Pöppel und Harvey, 1973; Zihl et al., 1980).

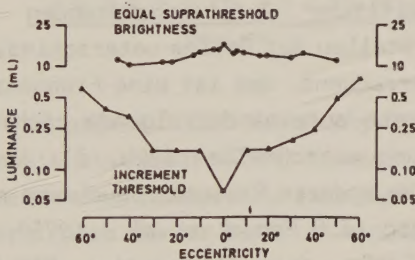


Abb. 1: Licht - Unterschiedsschwelle (untere Ordinate) und die für gleichbleibende Helligkeit erforderliche Leuchtdichte (obere Ordinate) als Funktionen der Exzentrizität (aus Zihl et al. 1975).

Die Sehschärfe variiert ebenfalls als Funktion der retinalen Exzentrizität (Abb.2); mit zunehmenden Abstand vom Fixierpunkt nimmt die Sehschärfe, also das räumliche Auflösungsvermögen, ab (Wertheim, Pöppel et al., 1975; Frisen, L. und Glansholm, A. 1975).

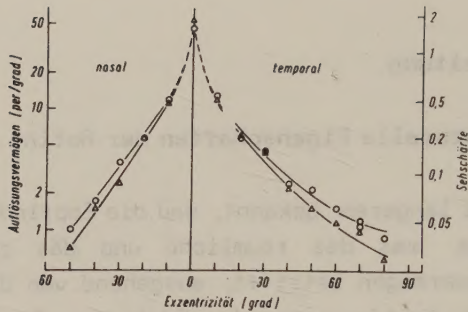


Abb. 2: Abhängigkeit der Sehschärfe von der retinalen Exzentrizität (Frisen und Glansholm, 1975)

Auch das zeitliche Auflösungsvermögen ist an verschiedenen Stellen der Retina unterschiedlich. Die Flimmerfusionsfrequenz, das ist eine Frequenz bei der zwei oder mehrere aufeinanderfolgende Lichtreize zu einer Empfindung verschmelzen (Abb. 3), ist, abgesehen von vielen anderen Faktoren, auch vom retinalen Reizort abhängig (z.B. Pöppel et al., 1975). Dabei spielt die Größe des flimmernden Flecks eine entscheidende Rolle. Für kleine Testfelder ist die Flimmerfusionsfrequenz in der Fovea centralis höher, für große hingegen in der Peripherie. Flimmern und Flackern großer Flächen werden daher in der Gesichtsfeldperipherie deutlicher wahrgenommen, als bei Fixation (van de Grind et al., 1972).

Diese psychophysischen Beobachtungen sind vermutlich durch retinale Eigenschaften bedingt, d.h. sie korrelieren beispielsweise mit der Verteilung von Rezeptoren und Ganglienzellen in der Retina (Osterberg, 1935). So findet man im Bereich der Fovea

nur Zapfen (insgesamt 6.5 Millionen), in der Netzhautperipherie hingegen fast ausschließlich Stäbchen (insgesamt 120 Millionen).

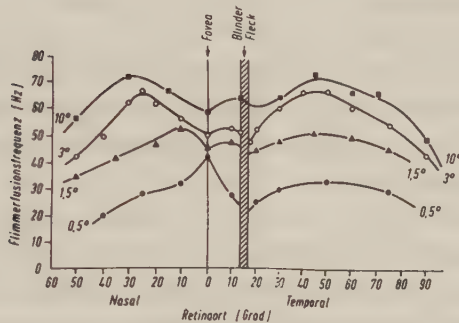


Abb. 3: Abhängigkeit der psychophysischen Flimmerfusionsfrequenz (FFF) flimmernder Testfelder mit verschiedenem Durchmesser vom retinalen Ort (nach Hykema 1942; in van de Grind et al., 1972).

Diese durch die inhomogene Struktur der Netzhaut bedingte Variabilität psychophysischer Variablen legt nahe zu fragen, wie eigentlich der Ablauf der Zeit selbst, als Funktion der retinalen Exzentrizität eingeschätzt wird. Sind Reize, die an verschiedenen Stellen des Gesichtsfeldes erscheinen, in ein homogenes zeitliches Bezugssystem eingebettet, oder hat jeder retinale Ort seine "eigene Zeit", wie aus

den zitierten Beobachtungen gefolgert werden könnte. Dabei sei hier ein Zeitbereich von Sekunden angesprochen, mit dem wir "Zeitwahrnehmung" assoziieren, und nicht, wie im Fall der Flimmerfusionsfrequenz, der höherfrequente Zeitbereich von Millisekunden.

1.2. Überlegungen zur "Zeitwahrnehmung"

An dieser Stelle muß zunächst auf die Begriffe "Zeitwahrnehmung" und "Zeitschätzung" eingegangen werden. Der Begriff "Zeitwahrnehmung" mag irreführend sein.

Schon Augustinus wies im elften Buch seiner "Bekenntnisse", daß auch eine ausführliche Erörterung menschlichen Zeiterlebens enthält, darauf hin, daß wir Ereignisse, nicht Zeit wahrnehmen. Wir fühlen zwar ständig, daß die Zeit vergeht, aber wir können sie weder riechen, hören, schmecken, sehen oder fühlen. Es ist nicht möglich auf ein Sinnesorgan zu verweisen, das Zeit "an sich" erfahren kann. Der Ausdruck "Zeit" verweist vielmehr auf ein In - Beziehung - Setzen von Positionen oder Abschnitten zweier oder mehrerer kontinuierlich bewegter Geschehensabläufe. Die Geschehensabläufe selbst sind wahrnehmbar. Die Beziehung stellt eine Verarbeitung von Wahrnehmungen durch wissende Menschen dar. Sie findet ihren Ausdruck in einem kommunizierbaren sozialem Symbol, dem Begriff "Zeit" (Elias, 1984).

Viele Philosophen haben sich Gedanken über die Zeit gemacht, wobei in ihren Überlegungen zu diesem Thema oft ihr allgemeines Weltbild zum Ausdruck kam. John Locke (1689) nahm etwa an, daß Zeitwahrnehmung durch

die Aufeinanderfolge von Ideen zustande komme. Henri Bergson (1920) versucht in Anlehnung an die Relativitätstheorie einen subjektiven Zugang zum Zeitproblem zu bekommen. Ein wesentlicher Punkt der Diskussion war, ob Zeit, wie z.B. Newton (1687) annahm, eine objektive Gegebenheit der natürlichen Schöpfung ist und damit unabhängig vom Menschen existiert, oder ob es sich bei der Zeit, - auch Descartes (1644) neigte dieser Ansicht zu, - um eine Art des Zusammensehens von Ereignissen handelt, die auf der Eigentümlichkeit des menschlichen Bewußtseins beruht und die dementsprechend jeder menschlichen Erfahrung vorausgeht. Immanuel Kant (1788) war der heftigste Verfechter dieser These: Für ihn ist Zeit eine a priori Bedingung des Geistes:

1. "Die Zeit ist kein empirischer Begriff, der irgend von einer Erfahrung abgezogen worden. Denn das Zugleichsein oder Aufeinanderfolgen würde selbst nicht in die Wahrnehmung kommen, wenn die Vorstellung der Zeit nicht a priori zum Grunde läge. Nur unter deren Voraussetzung kann man sich vorstellen, daß einiges zu einer und derselben Zeit (zugleich) oder in verschiedenen Zeiten (nacheinander) sei.

2. Die Zeit ist eine notwendige Vorstellung, die allen Anschauungen zum Grunde liegt. Man kann in Ansehung der Erscheinungen überhaupt die Zeit selbst nicht aufheben, ob man zwar wohl die Erscheinungen aus der Zeit wegnehmen kann. Die Zeit ist also a priori gegeben. In ihr allein ist alle Wirklichkeit der Erscheinungen möglich. Diese können insgesamt wegfallen, aber sie selbst (als die allgemeine Bedingung ihrer Möglichkeit), kann nicht aufgehoben werden."

Sowohl die aus der Physik kommende Auffassung, die Newton vertrat, als auch die idealistische, philosophische, die Kant vertrat, haben einiges gemein. In beiden Fällen handelt es sich bei der Zeit um eine "Naturgegebenheit", nur eben in dem einen Fall um eine "objektive", unabhängig von allen Menschen existierende Gegebenheit und in dem anderen Fall um eine "subjektive", in der Natur des Menschen angelegte Vorstellung.

1.3. Experimentelle Untersuchungen zur "Zeitwahrnehmung"

Als in den 60er Jahren des letzten Jahrhunderts die psychologische Forschung ins Labor verlegt wurde, wurde auch die Erfahrung der Zeit intensiv mit experimentellen Verfahren untersucht (Vierordt, 1868). Dabei war von großem Interesse, wie präzise "Zeit" wahrgenommen werden kann. Man versuchte dabei zu bestimmen, ob das Webersche Gesetz sich auch auf die Zeit anwenden läßt (Woodrow, 1951). Ernst Mach (1865) und Kurt Vierordt (1868) konnten den Weberschen Effekt in Bezug auf die Zeitschätzung in ihren Experimenten nicht nachweisen. Treisman (1963), der in seinen Experimenten mehrere Zeitschätzmethoden anwandte, kam zu dem Ergebnis, daß sich das Webersche Gesetz auf seine Resultate sehr wohl anwenden ließ. Er bemerkte, daß der Schätzfehler bei den kürzeren Intervallen größer war. Dieses Ergebnis versuchte er damit zu erklären, daß die "innere" Uhr ständig einen bestimmten Fehler hat, der durch ein Schneller-, oder Langsamerlaufen der Uhr nur teilweise kompensiert werden kann. Der auftretende Fehler ist folglich bei

den kürzeren Intervallen relativ größer, als bei den längeren. Diese Untersuchungen führten dazu, daß der Begriff des Indifferenzintervalls auftauchte, auf den später noch eingegangen werden soll.

Auf Grund der Unmöglichkeit auf einen besonderen Rezeptor zu verweisen, der Zeit erfahren kann, haben Wissenschaftler, die der klassischen psychophysischen Schule angehören, einen Zusammenhang zwischen der Erfahrung von Dauer und gleichzeitig beobachtbaren physiologischen Vorgängen postuliert. Hoagland (1933) beispielsweise berichtete, daß sich das Zeitgefühl seiner Frau unter dem Einfluß von Fieber verändert hatte, woraus er auf die Existenz einer inneren chemischen Uhr schloß. Gardner (1935) untersuchte den Einfluß von Hormonen auf die Zeiterfahrung, indem er Patienten mit Über- und Unterfunktion der Schilddrüse untersuchte.

Für Fraisse, (1964) spielen interne Rezeptoren des Organismus bei der Wahrnehmung von Dauer eine große Rolle. Diese "biologische" Uhr ist ein Teil des rhythmischen Zyklus, den man bei den Aktivitäten der Organismen, den Menschen eingeschlossen, finden kann. Menschen sind sich der Zeit oft in dem Sinne bewußt, in dem sie, ohne auf die Uhr zu schauen, wissen "wie spät es ist". Wie hoch entwickelt dieser "Zeitsinn" ist, kann man z.B. daran sehen, daß manche Menschen beim Ins- Bett- gehen, den Zeitpunkt bestimmen können, an dem sie wieder aufwachen wollen.

Guyau, (1890) und später Ornstein, (1969) meinten hingegen, daß mit der Vorstellung einer inneren Uhr zwar rhythmische physiologische Vorgänge, aber nicht die Erfahrung von Dauer erklärt werden können. Der sogenannten "sensory process metaphor", wonach also

ein Zeitsinn und bestimmte innere Rezeptoren für die Zeitwahrnehmung angenommen werden, stellte Ornstein, (1969) die sogenannte "storage size metaphor" entgegen. Seiner Meinung nach ist Zeitwahrnehmung ein kognitiver Prozeß. Dauer ist eine Erfahrung, die das Gedächtnis und einen Speicher der gemerkten Ereignisse miteinbezieht. Wenn sich die Anzahl der gespeicherten Ereignisse, oder deren Komplexität erhöht, wird der Speicher größer; wenn die Speichergröße zunimmt, wird auch die Erfahrung der Dauer dieses Intervalls größer.

Ornstein, (1969) zeigte auch, daß man bei der wissenschaftlichen Analyse der Zeitwahrnehmung vernünftigerweise zwischen den verschiedenen Ebenen, auf denen Zeit erfahren werden kann, differenzieren muß. So unterscheidet man ja auch bei der Untersuchung des visuellen Systems zwischen Farbe und Kontur. Seiner Meinung nach muß man dazu folgende Unterscheidungen treffen:

1. die Gegenwart, eine kurze Zeitspanne
 - a) die Wahrnehmung von kurzen Intervallen
 - b) Rhythmus oder "timing"
2. Dauer, die Vergangenheit, der Einfluß des Langzeitgedächtnisses
3. die zeitliche Perspektive - der Einfluß von philosophischen, sozialen, kulturellen Weltanschauungen auf die zeitliche Erfahrung. Die Zukunft.
4. Gleichzeitigkeit und Folge

Pöppel (1985) hat versucht über eine einfache Aufzählung hinaus eine hierarchische Klassifikation des menschlichen Zeiterlebens zu entwickeln. Diese

Klassifikation berücksichtigt unter anderem auch die von Ornstein benannten Zeiterfahrungen, unterscheidet sich aber insofern prinzipiell - auch von anderen Ansätzen einer Klassifikation - dadurch, daß hier, ausgehend von einem einfachsten, elementaren Zeiterlebnis, jeweils höhere Stufen menschlicher Zeiterfahrung konstruiert werden. Diese Klassifikation ist nicht ein rein theoretisches Konstrukt, sondern ist begründet in zahlreichen Beobachtungen, besonders an hirnverletzten Patienten (Abb. 4). Im folgenden soll diese Taxonomie näher beschrieben werden.

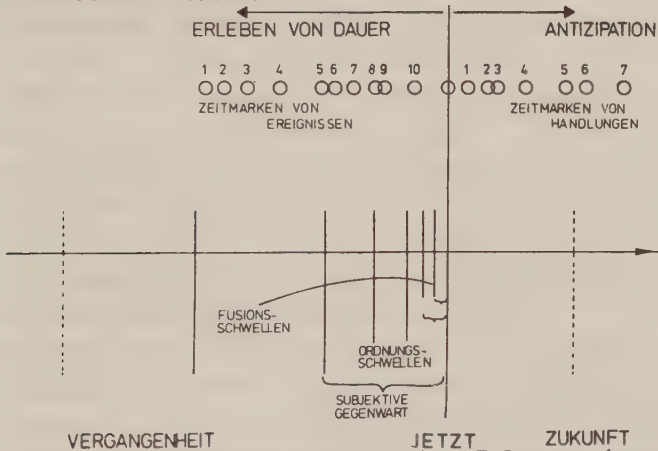


Abb. 4: Eine Taxonomie zeitlichen Erlebens (aus Pöppel, 1978).

Auf die Fusionsschwellen im visuellen Bereich bin ich in meiner Darstellung schon eingegangen. Die Fusions-schwellen sind in den verschiedenen Sinnesmodalitäten verschieden, weil die peripheren Verarbeitungs-mechanismen verschieden sind. Sie liegen im Bereich von wenigen Millisekunden. Die Ordnungsschwelle

bezeichnet das Zeitintervall, daß zwischen zwei Reizen liegen muß, um die Reihenfolge der Stimuli zu erkennen. Dieses Intervall beträgt 30 - 40 ms und ist in allen Sinnesmodalitäten gleich, man muß also annehmen, daß hier ein zentraler Prozeß zugrunde liegt (Hirsh und Sherrick, 1961). Die dritte Ebene zeitlichen Erlebens betrifft die des Sequenzierens. Hier spielt das Gedächtnis eine große Rolle, denn es muß nicht nur gemerkt werden, daß etwas geschieht, sondern auch, wann es geschieht. Dabei werden diese Sequenzen in zeitliche Gestalten gegliedert, wobei die Fähigkeit, solche zeitlichen Gestalten zu bilden, auf wenige Sekunden begrenzt ist. Dies ist der Bereich der subjektiven Gegenwart, von Clay, schon 1890 als "specious present" bezeichnet (siehe auch James, 1890).

Dieser Jetztpunkt ist also von dem physikalischen "Jetzt" verschieden. Das physikalische "Jetzt" ist ein Punkt ohne Dauer, es teilt den Fluß der Zeit in die Vergangenheit und die Zukunft. Die Gegenwart hingegen, so wie sie uns erscheint, hat ein Zentrum und eine Peripherie, oder, um Fraisse zu zitieren, es gibt einen "zeitlichen Horizont" (Fraisse, 1964). Ein Ereignis, das gerade eingetreten ist, ist gegenwärtiger, als eines in der Vergangenheit und gehört zusammen mit Ereignissen, die in der unmittelbaren Zukunft geschehen, zur Gegenwart. Aus den Ergebnissen von Zeitschätzexperimenten mit der Reproduktionsmethode geht hervor, daß dieser Zeitbereich, also die Gegenwart, etwas Besonderes auf sich hat. Reize, die kürzer sind als 2 - 2.5 Sekunden werden überschätzt, längere hingegen unterschätzt. Es gibt also einen Zeitbereich, in dem kein systematischer Fehler mehr

auftritt, was zu dem Begriff des vorher schon erwähnten Indifferenzintervalls führte (Vierodt, 1868).

Das Indifferenzintervall ist also ein Zeitbereich, der anders erfahren wird als andere Zeitintervalle und dieser Zeitbereich scheint ein gutes Maß für die subjektive Gegenwart zu sein. Pöppel, E. (1972) untersuchte, ob der hier zugrundeliegende zeitliche Mechanismus sich mehr wie ein Relaxations- oder ein Pendeloszillator verhält; werden also die Perioden des Oszillators durch den Stimulus synchronisiert, oder ist die innere Uhr von äußeren Ereignissen unabhängig. Obwohl der physiologische Mechanismus, der hierfür verantwortlich ist, unbekannt ist, legen seine Beobachtungen aus Experimenten mit der Methode der Zeitreproduktion nahe, daß es sich bei dem zugrundeliegenden Mechanismus um einen Relaxationsoszillator handelt.

In diesem Zusammenhang sei auf die am häufigsten verwandten Zeitschätzmethoden eingegangen.

In sogenannten Zeitschätzexperimenten, in denen untersucht wird, wie genau, oder wie überhaupt ein zeitliches Intervall geschätzt wird, werden im Wesentlichen vier Methoden verwandt (Clausen, 1950; Fraisse, et al. 1962; Kruup, 1961; Ochberg, et al. 1965; Treisman, 1963; Weber, 1965).

1. Schätzmethode: Der Proband wird aufgefordert die Dauer eines Stimulus in konventionellen Zeiteinheiten zu schätzen.
2. Vergleichsmethode: Dabei sollen zwei aufeinanderfolgende Reize miteinander verglichen

werden, der Proband muß entscheiden, welcher von beiden der längere ist.

3. Produktionsmethode: Bei dieser Methode wird die Versuchsperson aufgefordert, ein bestimmtes Zeitintervall in konventionellen Zeiteinheiten herzustellen.
4. Reproduktionsmethode: bei dieser Methode soll der Proband die Länge eines vorher gezeigten Stimulus reproduzieren.

Beim Vergleich dieser Methoden erwiesen sich die Reproduktions- und die Vergleichsmethode am geeignetsten, weil sie von konventionellen Zeitbegriffen unabhängig sind. Die Reproduktionsmethode hat gegenüber den anderen Methoden den Vorteil, daß die mit ihr erzielten Ergebnisse genauer sind, und daß die Variabilität geringer ist (Gilliland & Humphreys, 1943). Allerdings können mit dieser Methode nur kurze Dauern exploriert werden.

Im Rahmen dieser Arbeit soll mit der Reproduktionsmethode zum erstenmal experimentell geklärt werden, ob die Dauer visueller Stimuli an verschiedenen Stellen im Gesichtsfeld unterschiedlich eingeschätzt wird. Aus der Beantwortung dieser Frage läßt sich ableiten, ob zeitliche Erfahrung als homogen im Gesichtsfeld erlebt wird, oder ob sich die Inhomogenität der retinalen Rezeptorfläche auf die menschliche Zeiterfahrung auswirkt. Im Falle einer Unabhängigkeit der Zeiterfahrung von der räumlichen Position eines Ereignisses wird man annehmen müssen, daß Zeiterleben, in dem untersuchten Zeitbereich, mehr als nur ein rein sensorisches Phänomen ist.

2. Experimenteller Teil

2.1. Versuchspersonen

An dem Experiment nahmen 18 gesunde normalsichtige Personen teil, deren Leistung mit DM 12.- pro Stunde vergütet wurde. Es handelte sich um Rechtshänder, deren Alter zwischen 19 und 35 Jahren lag, mit einem Altersdurchschnitt von 24 Jahren.

2.2. Experiment:

Das Experiment fand unter mesopischen Beleuchtungsbedingungen morgens zwischen 11 und 12 Uhr statt. Die Versuchsperson saß an einem Tisch (siehe Abb. 5), auf dem sich in Augenhöhe, 60 cm entfernt ein Stab mit einem Fadenkreuz befand. Der Proband wurde aufgefordert, das Zentrum des Fadenkreuzes binokular zu fixieren. In derselben Höhe und Entfernung, aber mit einer Reizexzentrizität von 15, 30 und 45 Grad, wurde entweder auf der rechten oder linken Seite ein rotes, weit überschwelliges Lichtsignal dargeboten. Wenn die Zeitlängenschätzung foveal durchgeführt wurde, fixierte die VP den Lichtpunkt direkt. Die Dauer des Lichtreizes lag zwischen 0.5 und 5 Sekunden, in Schritten von jeweils einer halben Sekunde. Nach Beendigung des Reizes folgte eine Pause von einer Sekunde, dann schaltete sich das Licht wieder ein. Aufgabe des Probanden war es, den Reiz dann mittels eines Schalters, den er mit der rechten Hand betätigte auszuschalten, wenn er glaubte, daß das Lichtsignal die Länge des Referenzreizes erreicht hätte. Diese,

durch Reproduktion geschätzte Zeit, wurde registriert. Pro Sitzung wurde die Zeitlängenschätzung an zwei verschiedenen Orten im Gesichtsfeld untersucht. Jedes Zeitintervall wurde bei jeder Exzentrizität fünfmal dargeboten, wobei die Abfolge der Intervalle zufallsverteilt war. Damit sich die VPen mit dem Experiment vertraut machen konnten, wurde ein Probedurchgang gemacht. Die Reihenfolge der retinalen Reizorte war bei den einzelnen Probanden randomisiert.

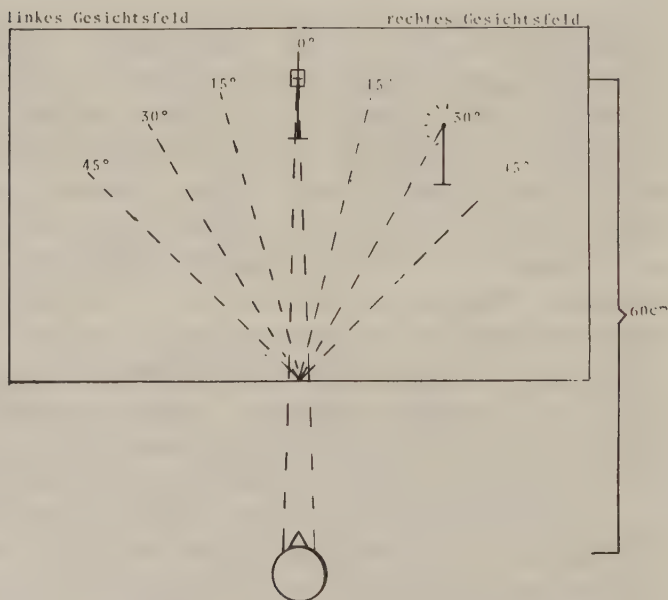


Abb. 5 : Schematische Zeichnung des Versuchsaufbaus (z.B., Reproduktion eines Lichtreizes, der eine bestimmte Dauer hat und 30° peripher vom Fixationspunkt im Gesichtsfeld erscheint)

3. Auswertung und Ergebnisse der Zeitlängenschätzung

3.1. Multivariate Varianzanalyse (Manova)

Es wurde eine multivariate Varianzanalyse mit Meßwiederholungen auf der "Cyber 175" des Leibniz - Rechenzentrums in München durchgeführt. Es handelt sich hier deshalb um ein "repeated measures" Design, da jede der 18 Versuchspersonen unter sieben verschiedenen experimentellen Bedingungen - nämlich den sieben verschiedenen Exzentrizitäten - getestet wurde. Man sagt in solchen Analysen oft, daß jede Versuchsperson als ihre eigene Kontrolle dient.

Die zwei Hauptfaktoren sind Treatment (= Exzentrizität 1-7) und Zeit (0.5 - 5.0 Sekunden). Die Exzentrizität ist dabei ein sogenannter "between subjects" Faktor und Zeit ein sogenannter "within subjects" Faktor. Es handelt sich also um ein "mixed model" (siehe Winer, 1971), bei dem der "subject" Faktor mit dem "between subject" Faktor genestet ist und mit dem "within subject" Faktor gekreuzt ist. Als Signifikanzmaß wurde das "averaged F", das "identical to the mixed results" ist, verwendet (Hull & Nie, 1981).

3.2. Vergleich der Mittelwerte

In Tabelle 1 und Abbildung 6a und 6b sind die Ergebnisse der Zeitlängenschätzung aller 18 Probanden bei jedem Zeitintervall und in jeder Reizsituation, also bei exzentrischer oder fovealer Reizdarbietung

Exzentr.	45°li	30°li	15°li	0°	15°re	30°re	45°re
Zeit							
0.5 s	0.569 0.147	0.611 0.238	0.596 0.157	0.516 0.172	0.728 0.618	0.663 0.503	0.611 0.204
1.0 s	1.038 0.294	0.993 0.291	1.020 0.241	0.943 0.284	1.129 0.333	1.070 0.245	1.043 0.302
1.5 s	1.506 0.306	1.467 0.306	1.473 0.303	1.407 0.353	1.623 0.628	1.533 0.331	1.562 0.388
2.0 s	2.006 0.337	1.921 0.364	1.887 0.335	1.891 0.461	2.032 0.443	1.931 0.412	2.026 0.405
2.5 s	2.380 0.472	2.323 0.379	2.308 0.412	2.164 0.455	2.389 0.491	2.463 0.445	2.356 0.415
3.0 s	2.790 0.465	2.690 0.449	2.799 0.482	2.583 0.481	2.824 0.555	2.806 0.469	2.842 0.454
3.5 s	3.119 0.555	3.071 0.579	3.152 0.618	2.943 0.580	3.154 0.599	3.168 0.640	3.198 0.634
4.0 s	3.551 0.583	3.586 0.662	3.559 0.655	3.337 0.741	3.494 0.666	3.669 0.707	3.492 0.625
4.5 s	3.870 0.697	3.971 0.810	3.969 0.826	3.778 0.776	3.898 0.868	4.066 0.818	4.001 0.742
5.0 s	4.349 0.837	4.321 0.763	4.396 0.875	4.102 0.823	4.293 0.848	4.454 0.771	4.339 0.939

Tab. 1 : Ergebnisse der Zeitlängenschätzung eines Lichtreizes von 18 Probanden mit der Methode der Reproduktion. Der Lichtreiz wurde dabei an sieben verschiedenen Stellen im Gesichtsfeld dargeboten. Die Stimulusdauer betrug 0.5 - 5.0 Sekunden, in Schritten von einer halben Sekunde. Jeder Wert ist der Mittelwert aus 90 Einzeldaten, da jedes Intervall von jeder der 18 Versuchspersonen 5 x reproduziert wurde. Die umrandeten Werte markieren den Zeitbereich, in dem das Indifferenzintervall liegt.

Reproduktion

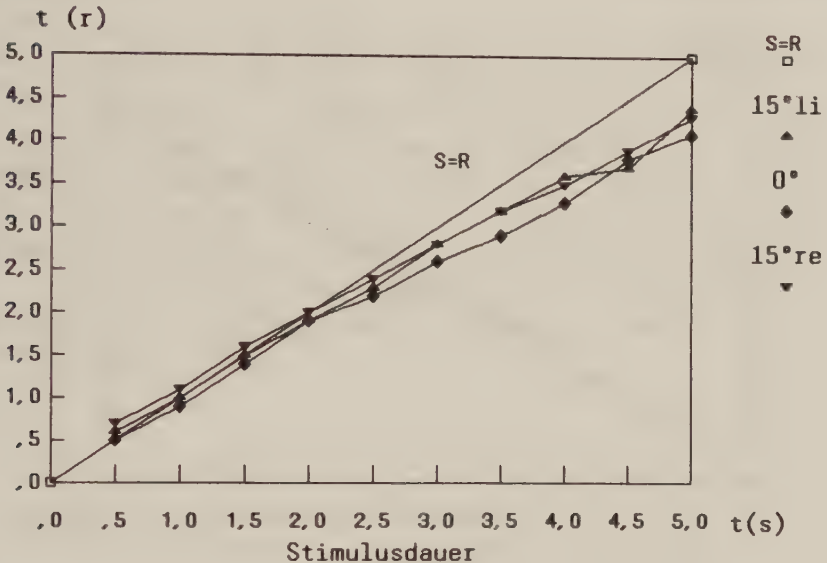


Abb. 6a: Ergebnisse der Zeitlängenschätzung eines Lichtreizes mit der Reproduktionsmethode. Es handelt sich um die Mittelwerte von 18 Probanden (Jeder Punkt der Kurven ist ein Mittelwert aus 90 Einzeldaten, da jedes der 10 Intervalle von jeder der 18 Versuchspersonen 5 x reproduziert wurde). Die Lichtreize hatten eine Dauer von 0.5 bis 5.0 Sekunden in Schritten von einer halben Sekunde. Die Zeitlängenschätzung wurde zum einen bei direkter Fixation des Lichtreizes durchgeführt und zum anderen bei Präsentation des Lichtreizes 15° peripher vom Fixationspunkt, sowohl auf der rechten, als auch auf der linken Seite. Die mit $S = R$ bezeichnete Gerade entspricht der Situation, in der die reproduzierte Zeit der Dauer des Stimulus entsprechen würde.

Man sieht, daß die Tendenz besteht, die Zeitintervalle von 0.5 bis 2.0 Sekunden zu überschätzen und die Reize von 2.0 bis 5.0 Sekunden zu unterschätzen. Das Überschätzen der kurzen Reize ist deutlich ausgeprägter, wenn der Lichtreiz auf der rechten Seite dargeboten wird.

Reproduktion

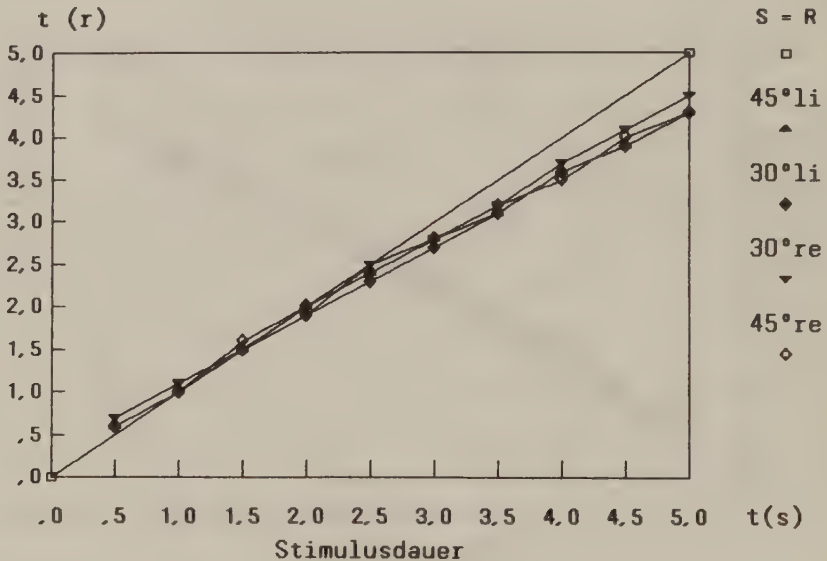


Abb. 6b : Diese Abbildung ist eine Fortsetzung von Abb. 6a, wobei hier die Ergebnisse der Zeitlängenschätzung an den anderen Stellen im Gesichtsfeld dargestellt sind. Hier wurde der Lichtreiz also mit einer Exzentrizität von 30° und 45° sowohl auf der rechten, als auch auf der linken Seite dargeboten. Auch hier sind die Ergebnisse von der Reizsituation abhängig, wiederum werden die kürzeren Intervalle im rechten Gesichtsfeld stärker überschätzt.

dargestellt. Jeder Wert der Tabelle, (beziehungsweise jeder Punkt der Kurve) repräsentiert dabei den Mittelwert aus insgesamt 90 Werten (18 Versuchspersonen X 5 Wiederholungen pro Intervall). In den Abbildungen 6a und 6b wurde die durch Reproduktion geschätzte Zeit $r(t)$ gegen den Referenzreiz $s(t)$ aufgetragen. Die Diagonale soll jeweils die Situation veranschaulichen, in der die durch Reproduktion geschätzte Zeit dem Stimulus entsprechen würde, also $S = R$ wäre.

Man sieht, daß bei der Reproduktion der zeitlichen Reize die Tendenz besteht, die kürzeren Stimuli von 0.5 bis 2.0 Sekunden zu überschätzen und die längeren Reize von 2.0 bis 5.0 Sekunden zu unterschätzen. Die Neigung zum Überschätzen der kurzen Stimuli ist an den Reizorten im rechten Gesichtsfeld deutlich ausgeprägter, als an denen im linken Gesichtsfeld und bei Fixation.

Dazwischen liegt dann der Zeitbereich, in dem kein Schätzfehler mehr auftreten würde, das sogenannte Indifferenzintervall. Dieses wurde dann notiert, wenn ein Wechsel von positivem zu negativem Irrtum stattfand, wenn also ein Intervall überschätzt wurde und das darauffolgende unterschätzt wurde. In Tabelle 1 sind diese Werte umrandet. Bei direkter Fixation des Lichtreizes liegt das Indifferenzintervall zwischen 0.5 und einer Sekunde. Bei Reizung im linken Gesichtsfeld liegt das Indifferenzintervall zwischen einer und 1.5 Sekunden, wenn 15° peripher vom Fixationspunkt gereizt wird, zwischen 0.5 und einer

Sekunde bei 30° , zwischen 2.0 und 2.5 Sekunden bei 45° . Bei Reizung im rechten Gesichtsfeld liegt das Indifferenzintervall bei einer Exzentrizität von 15° und 45° zwischen 2.0 und 2.5 Sekunden, bei 30° zwischen 1.5 und 2.0 Sekunden. Das Indifferenzintervall ist also länger, wenn die Zeitlängenschätzung im rechten Gesichtsfeld durchgeführt wird. Diese Tatsache bedingt auch, daß die kurzen Standardintervalle bis zu 2.0 Sekunden an den Reizorten im rechten Gesichtsfeld stärker überschätzt werden.

3.3. Der Zeitschätzfehler (als Maß für die Genauigkeit, mit der die zeitlichen Reize reproduziert werden)

3.2.1. Der absolute Zeitschätzfehler (als prozentualer Anteil vom Stimulusintervall)

Hier wird also unberücksichtigt gelassen, ob der Fehler durch Über-, oder Unterschätzen des Standardintervalls zustandekommt, ob er also positiv oder negativ ist.

Tabelle 2a und Abbildung 7a zeigen die durchschnittlichen Zeitschätzfehler bei jedem Intervall und in jeder Reizsituation.

Vergleicht man die Fehler, die bei den einzelnen Zeitintervallen gemacht wurde, so stellt man folgendes fest: Wenn die Zeitlängenschätzung foveal durchgeführt wird, sind die Fehler bei den einzelnen

Exzentr.	45°li	30°li	15°li	0°	15°re	30°re	45°re
Zeit							
0.5 s	16.44 15.45	27.56 23.72	20.89 17.86	17.78 13.94	46.00 100.5	33.56 47.73	25.78 27.92
1.0 s	17.78 12.85	18.22 14.17	12.89 7.30	14.11 10.09	17.78 12.25	16.11 8.13	15.67 14.76
1.5 s	11.78 5.83	10.81 5.34	10.22 7.44	13.55 12.28	17.41 29.71	11.41 9.99	13.63 11.58
2.0 s	7.17 6.55	9.83 5.10	9.67 6.43	13.33 11.65	11.28 8.74	12.33 7.76	10.72 6.34
2.5 s	11.73 6.77	9.91 7.84	9.02 8.74	15.47 11.65	10.84 8.74	10.71 7.77	10.58 6.34
3.0 s	9.37 8.85	11.81 8.47	10.04 8.14	14.77 11.04	10.59 8.12	9.22 8.08	9.12 8.52
3.5 s	11.71 11.97	13.84 12.32	12.60 11.94	16.34 12.80	10.76 9.60	11.78 11.07	13.14 10.37
4.0 s	12.39 11.03	11.53 12.64	12.03 11.52	19.08 13.76	13.14 12.76	10.83 9.98	14.36 10.78
4.5 s	14.15 12.77	14.08 12.43	12.94 14.28	16.79 13.23	13.78 13.38	11.49 11.01	11.97 12.42
5.0 s	14.00 13.12	14.11 11.77	13.20 14.695	18.00 12.74	14.98 11.99	11.84 11.52	14.07 14.59

Tab. 2a : In dieser Tabelle sind die prozentualen, absoluten Zeitschätzfehler bei dem betreffenden Stimulusintervall aufgeführt. Es handelt sich um die Mittelwerte von 18 Probanden, die die Aufgabe hatten, die Dauer eines Lichtreizes zu reproduzieren, der an 7 verschiedenen Stellen im Gesichtsfeld dargeboten wurde.

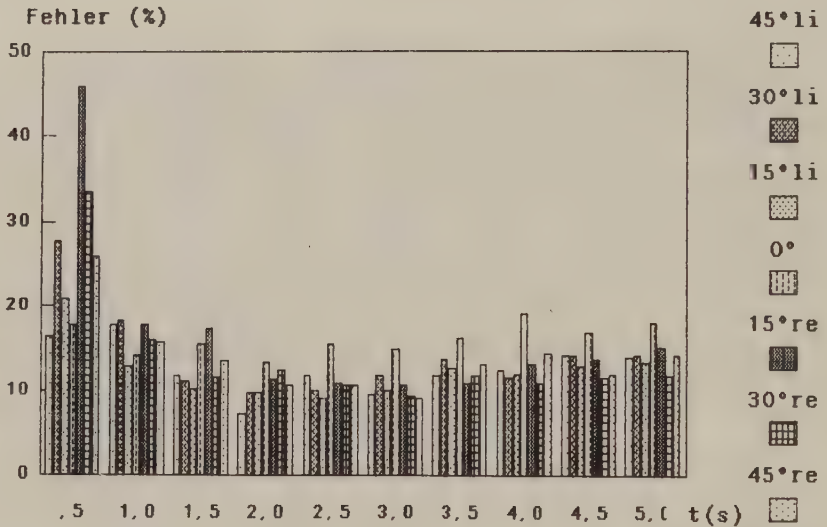


Abb. 7a: In dieser Abbildung sind auf der Abszisse die Zeitintervalle aufgetragen, deren Dauer geschätzt werden sollte und auf der Ordinate der relative prozentuale absolute Fehler, der bei dem entsprechenden Intervall gemacht wurde. Es handelt sich dabei um Mittelwerte aus 90 Einzeldaten, da jedes der 10 Zeitintervalle von jeder der 18 Versuchspersonen 5 x reproduziert wurde. Da der Lichtreiz an 7 verschiedenen Stellen im Gesichtsfeld präsentiert wurde, sind bei jedem Stimulusintervall 7 Blöcke aufgetragen.

Zeitintervallen ungefähr gleich groß. Wenn der Lichtreiz auf der rechten oder der linken Seite in der Peripherie dargeboten wird, so ist der Fehler bei einer halben Sekunde deutlich größer, als bei den anderen Zeitintervallen.

In Tabelle 2b und Abbildung 7b ist dargestellt, wie groß der durchschnittliche Gesamtfehler, der sich aus den Fehlern aller Intervalle zusammensetzt, in jeder experimentellen Bedingung ist.

Der mit 16.7% größte Schätzfehler wird im rechten Gesichtsfeld 15° peripher vom Fixationspunkt gemacht. Der mit 16% zweitgrößte Fehler tritt auf, wenn die Zeitschätzung foveal durchgeführt wird. Im linken Gesichtsfeld wird nur dann ein größerer Schätzfehler gemacht, als im rechten, wenn die zeitlichen Reize 30° exzentrisch präsentiert werden.

In Tabelle 2c sind die durchschnittlichen Fehler des rechten und des linken Gesichtsfelds gegenübergestellt, und man kann sehen, daß dieser mit 14.6% im rechten Gesichtsfeld, verglichen mit 13% im Linken, etwas größer ist.

Die statistische Auswertung ergab folgendes:

EXZENTR.	SS	DF	MS	F	SIG OF F
RESID.SS	314346.925	102	3081.833		
TOTAL	14353.805	6	2392.301	.776	.59038

Das Ergebnis ist also statistisch nicht signifikant.

Reizbed.	45°li	30°li	15°li	0°	15°re	30°re	45°re
Fehler%	12.7	14.2	12.3	16.1	16.7	13.9	13.1

Tab. 2b : Diese Tabelle ist eine Zusammenfassung von Tab. 7a, wobei hier der mittlere Fehler aller Zeitintervalle gebildet wurde.

	linkes G.F.	0°	rechtes G.F.
Fehler%	13	16.1	14.6

Tab. 2c : Diese Tabelle ist eine Zusammenfassung von Tab. 7b, wobei der mittlere Fehler aus den Fehlern der einzelnen Darbietungsorte im rechten und im linken Gesichtsfeld gebildet wurde.



Abb. 7b : Diese Abbildung ist eine Zusammenfassung von Abb. 7a, wobei jeweils der mittlere Schätzfehler aus den Fehlern aller 10 Zeitintervalle gebildet wurde.

3.2.2. Der prozentuale Zeitschätzfehler (unter Berücksichtigung, ob der Fehler positiv oder negativ ist)

Tabelle 3a und Abbildung 8a zeigen die durchschnittlichen Schätzfehler der 18 Versuchspersonen bei den einzelnen Zeitintervallen und den verschiedenen experimentellen Bedingungen. Bei der Auswertung wurde berücksichtigt, ob der Fehler durch Über-, oder Unterschätzen der Stimuli zustande kommt.

Es zeigte sich, daß der Zeitschätzfehler im rechten Gesichtsfeld bei den Intervallen von 0.5 bis 2.0 Sekunden positiv ist. Die längeren Stimuli werden unterschätzt, wobei der Fehler immer größer wird, je länger die Reize sind.

Im linken Gesichtsfeld ist der Trend zum Unterschätzen der Intervalle bei weitem ausgeprägter. Bei einer Exzentrizität von 30° wird nur eine halbe Sekunde überschätzt, bei 15° wird auch eine Sekunde noch überschätzt. Wenn die Zeitlängenschätzung 45° in der Peripherie durchgeführt wird, so ist der Fehler sogar bei 2 Sekunden noch positiv.

Bei fovealer Reizdarbietung ist der Fehler nur bei einer halben Sekunde positiv, die übrigen Standardintervalle werden stark unterschätzt.

Tabelle 3b und Abbildung 8b sind eine Zusammenfassung von Tabelle 3a und Abbildung 8a, wobei der mittlere Schätzfehler aus den Fehlern aller 10 Zeitintervalle gebildet wurde. Nur wenn die Zeitlängenschätzung 15° peripher vom Fixationspunkt durchgeführt wird, ist der Zeitschätzfehler positiv. Unter allen anderen

Exzentr.	45°li	30°li	15°li	0°	15°re	30°re	45°re
Zeit							
0.5	+13.8	+22.2	+19.1	+ 3.1	+45.6	+32.7	+22.2
s	18.0	18.0	19.9	22.7	100.6	48.4	31.0
1.0	+ 3.8	- 0.7	+ 2.0	- 5.7	+12.9	+ 7.0	+ 4.3
s	22.0	22.0	15.0	16.7	17.6	17.0	21.4
1.5	+ 0.4	- 2.2	- 1.8	- 6.2	+ 8.2	+ 2.2	+ 4.1
s	13.5	13.5	12.8	19.1	33.6	15.2	17.7
2.0	+ 0.3	- 3.9	- 5.6	- 5.4	+ 1.6	- 3.4	+ 1.3
s	9.9	9.9	10.3	19.2	15.1	14.4	13.1
2.5	- 4.8	- 7.1	- 7.7	-13.4	- 4.4	- 1.5	- 5.8
s	12.9	12.9	10.0	14.1	13.4	13.4	11.1
3.0	- 7.0	-10.3	- 6.7	-13.9	- 5.9	- 6.5	- 5.3
s	10.9	10.9	11.2	12.2	12.2	10.5	11.5
3.5	-10.9	-12.3	- 9.9	-15.9	- 9.9	- 9.5	- 8.6
s	12.8	12.8	14.4	13.4	10.6	13.2	14.6
4.0	-11.2	-10.4	-11.0	-16.6	-12.6	- 8.3	-12.7
s	12.4	12.3	12.5	16.8	13.3	12.3	12.8
4.5	-14.0	-11.8	-11.8	-16.0	-13.4	- 9.7	-11.1
s	12.9	12.8	15.3	14.2	13.8	12.7	13.3
5.0	-13.0	-13.6	-12.1	-18.0	-14.1	-10.9	-13.2
s	14.1	14.2	15.7	12.8	13.0	12.5	15.4

Tab. 3a : In dieser Tabelle ist aufgeführt, um wieviel Prozent sich 18 Probanden bei der Reproduktion der jeweiligen Dauer eines Lichtreizes verschätzten. An dem Vorzeichen sieht man, ob der Fehler insgesamt durch Über-, oder Unterschätzen des Standardintervalls zustandekommt. Jeder Wert ist der Mittelwert aus 90 Einzeldaten, da jedes Intervall von jedem Probanden 5 x reproduziert wurde.

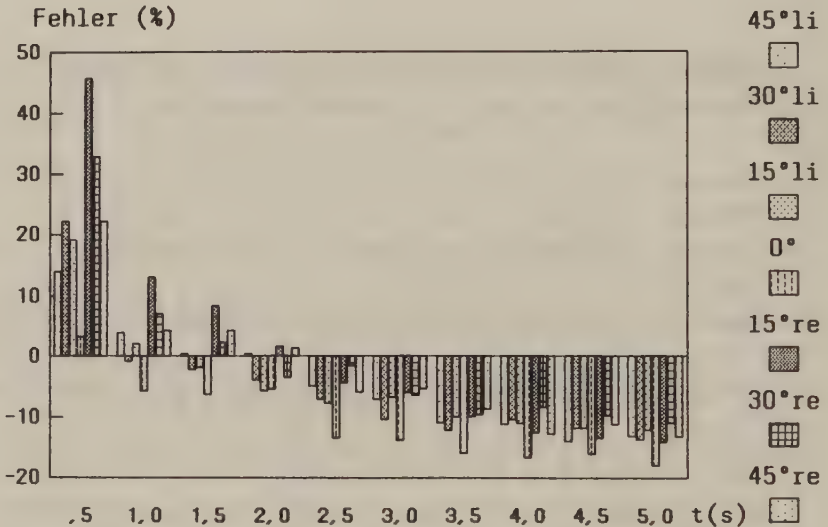


Abb. 8a : In dieser Abbildung sind auf der Abszisse die Zeitintervalle aufgetragen, deren Dauer geschätzt werden sollte und auf der Ordinate der prozentuale Schätzfehler bei dem entsprechenden Intervall. Hier wurde berücksichtigt, ob der Fehler durch Über- oder Unterschätzen des Stimulusintervalls zustande kam. Jeder Schätzfehler ist ein Mittelwert aus 90 Einzeldaten, da jeder der 18 Probanden jedes Intervall 5 x reproduzierte. Man sieht, daß der Fehler im rechten Gesichtsfeld im Überschätzen der Zeitintervalle von 0.5 bis 2.0 Sekunden liegt und im Unterschätzen der Intervalle von 2.0 bis 5.0 Sekunden. Bei einer Exzentrizität von 30° im linken Gesichtsfeld und bei Fixation des Lichtreizes wird nur eine halbe Sekunde überschätzt; wenn der Reiz 15° peripher vom Fixationspunkt im linken Gesichtsfeld dargeboten wird, werden die Intervalle bis zu einer Sekunde überschätzt. Nur bei einer Exzentrizität von 45° im linken Gesichtsfeld werden auch die längeren Intervalle bis zu 2.0 Sekunden überschätzt.

Reizbed.	45°li	30°li	15°li	0°	15°re	30°re	45°re
Fehler%	-4.26	-5.01	-4.55	-10.8	+0.80	-0.79	-2.48

Tab. 3b : Diese Tabelle ist eine Zusammenfassung von Tab. 3a, wobei hier der mittlere Fehler aller 10 Zeitintervalle gebildet wurde. Es ist deutlich zu sehen, daß der Schätzfehler bei fovealer Darbietung des Lichtreizes, sowie bei Darbietung im linken Gesichtsfeld durch Unterschätzen des Stimulus zustande kommt. Im rechten Gesichtsfeld dagegen ist der Fehler positiv, wenn der Lichtreiz 15° peripher vom Fixationspunkt dargeboten wird, an den anderen Reizorten werden die Intervalle insgesamt geringfügig unterschätzt.

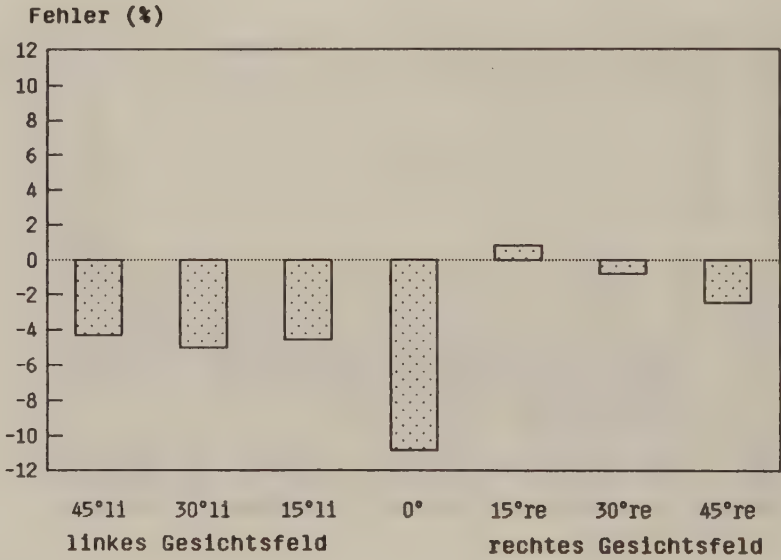


Abb. 8b : Diese Abbildung ist eine Zusammenfassung der Ergebnisse von Abb. 8a , wobei hier der mittlere Zeitschätzfehler aus den Fehlern aller 10 Zeitintervalle gebildet wurde.

experimentellen Bedingungen ist er negativ. Im rechten Gesichtsfeld ist dieser negative Fehler sehr klein, was darauf hindeutet, daß Über-, und Unterschätzen sich hier die Waage halten. Wenn die Zeitlängenschätzung foveal und an den verschiedenen Orten im linken Gesichtsfeld durchgeführt wird, ist der Fehler sehr viel größer, was darauf hinweist, daß insgesamt stark unterschätzt wird.

Die statistische Auswertung ergab folgendes:

EXZENTR:	SS	DF	MS	F	SIG OF F
RESID.SS	297776.953	102	2919.382		
TOTAL	74872.927	6	12478.821	4.274	.00070

Es zeigte sich also, daß diese Unterschiede mit $p \leq 0.01$ statistisch signifikant sind.

Aufgrund der großen Differenzen zwischen dem rechten und dem linken Gesichtsfeld in Bezug auf diesen Schätzfehler, wurde untersucht, ob das Ergebnis auch beim direkten Vergleich der beiden Gesichtsfeldhälften signifikant ist.

Die statistische Auswertung hierzu ergab folgendes:

EXZENTR.	SS	DF	MS	F	SIG OF F
RESID.SS	975.607	17	57.389		
TOTAL	387.709	1	387.709	6.756	.01871

Der Unterschied zwischen dem rechten und dem linken Gesichtsfeld was die Zeitlängenschätzung betrifft, ist also mit $p \leq 0.5$ statistisch signifikant.

3.3. Vergleich der Variabilitätskoeffizienten

Da sich die Streuungswerte bei den einzelnen Zeitintervallen auf unterschiedlich hohe Mittelwerte beziehen, darf kein unmittelbarer Streuungsvergleich vorgenommen werden. Stattdessen wird die Streuung in Prozenten des arithmetischen Mittels ausgedrückt, wobei man den sogenannten Variabilitätskoeffizienten V nach Pearson erhält. Er wird nach folgender Formel berechnet:

$$V = 100s/\bar{x}$$

In Tabelle 4a und Abbildung 9a und 9b sind die durchschnittlichen Variabilitätskoeffizienten von 18 Probanden bei jedem Zeitintervall und unter jeder experimentellen Bedingung dargestellt. Man sieht, daß die verschiedenen Zeitintervalle einen großen Einfluß auf die Variabilität haben. So ist die Variabilität unabhängig von der Reizsituation, bei 0.5 und 1.0 Sekunden auffallend hoch. Bei den längeren Zeitintervallen wird sie deutlich geringer. Wenn die Zeitlängenschätzung 30° peripher vom Fixationspunkt im rechten und im linken Gesichtsfeld durchgeführt wird, ist die Variabilität bei 5.0 Sekunden am geringsten. Dies ist auch der Fall, wenn die Lichtreize mit einer Exzentrizität von 15° im linken

Exzentr.	45°li	30°li	15°li	0°	15°re	30°re	45°re
Zeit							
0.5	20.04	27.46	23.41	7.90	28.68	28.97	21.48
1.0	20.40	17.40	21.95	37.88	23.86	17.15	20.68
1.5	15.37	17.51	21.95	23.13	15.89	16.81	18.21
2.0	13.60	16.04	18.75	19.91	15.46	14.30	27.46
2.5	12.95	16.05	16.21	2.40	15.89	12.51	13.51
3.0	12.35	11.46	18.11	21.60	14.48	13.03	9.91
3.5	10.94	10.99	12.60	27.41	14.59	12.86	12.47
4.0	9.42	11.02	12.60	23.52	12.70	13.70	10.34
4.5	9.77	11.50	16.00	19.37	15.80	14.63	10.76
5.0	10.61	10.56	12.05	23.73	13.58	10.00	11.70

Tab. 4a : In dieser Tabelle sind anstelle der Standardabweichung die Variabilitätskoeffizienten mit $V = 100s / m$ von 18 Probanden aufgeführt. Es darf kein unmittelbarer Streuungsvergleich vorgenommen werden, da sich die Streuungswerte auf unterschiedlich hohe Mittelwerte beziehen. Man sieht, daß die Variabilität bei den kurzen Zeitintervallen hoch ist und bei den längeren Intervallen abnimmt. Eine Ausnahme liegt vor, wenn die Dauer der Lichtreize in der Blicklinie reproduziert werden sollte; hier ist die Variabilität hier bei 0.5 Sekunden sehr gering und nimmt bei den längeren Intervallen nicht ab. Bei einer Exzentrizität von 15° und 30° links, sowie bei 30° rechts ist die Variabilität bei 5.0 Sekunden am geringsten.

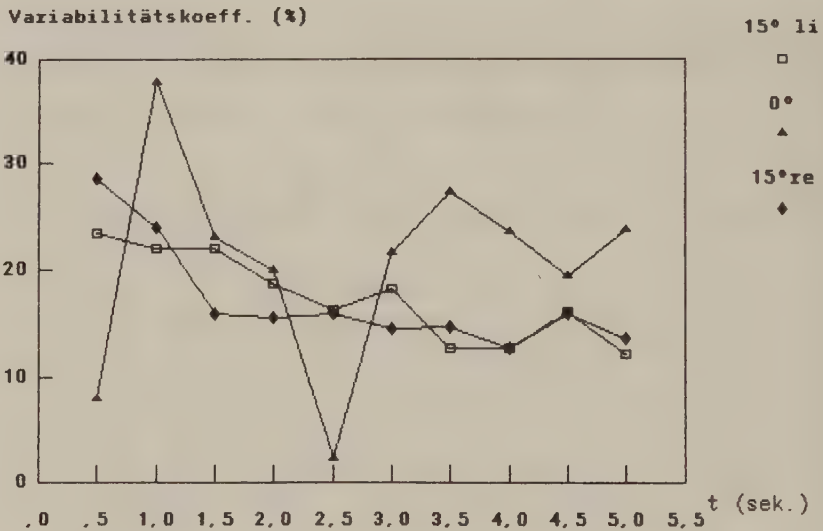


Abb. 9a : In dieser Abbildung sind, als anderes Maß für die Streuung, die Variabilitätskoeffizienten (Ordinate) gegen die Zeitintervalle, deren Dauer geschätzt werden sollte aufgetragen. Die Zeitlängenschätzung wurde dabei an drei verschiedenen Stellen im Gesichtsfeld durchgeführt. Wenn 15° peripher vom Fixationspunkt rechts und links im Gesichtsfeld geschätzt wird, ist die Variabilität bei 0.5 und einer Sekunde sehr hoch und nimmt dann bei den längeren Standardintervallen ab. Wenn die Lichtreize foveal präsentiert werden, sind die Schwankungen bezüglich der Variabilität zwischen den einzelnen Zeitintervallen sehr viel größer.

Variabilitätskoeff. (%)

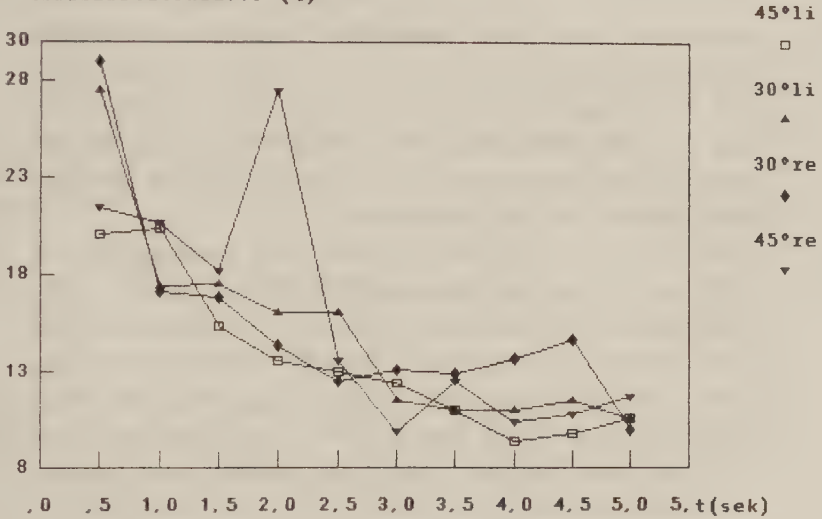


Abb. 9b : Diese Abbildung ist eine Fortsetzung von Abb. 9a. Hier ist dargestellt, wie groß die Variabilitätskoeffizienten sind, wenn die Zeitschätzung an den anderen retinalen Stellen durchgeführt wird.

Gesichtsfeld präsentiert werden. Eine deutliche Ausnahme liegt vor, wenn die Zeitlängenschätzung foveal durchgeführt wird. Hier ist die Variabilität bei 0.5 Sekunden mit 7.9% sehr gering. Außerdem ist bei den längeren Zeitintervallen nicht wie unter den anderen Reizbedingungen eine systematische Abnahme der Variabilität zu beobachten.

Tabelle 4b und Abbildung 10 sind eine Zusammenfassung von Tabelle 4a und Abbildung 9a und 9b, wobei die Mittelwerte der Variabilitätskoeffizienten aus allen Zeitintervallen gebildet wurden. Vergleicht man diese, so stellt man fest, daß die verschiedenen Reizbedingungen auf die Variabilität nur einen geringen Einfluß haben. Die mit 21% größte Variabilität bei der Zeitschätzung tritt bei Fixation auf, zwischen den retinalen Reizorten im rechten und linken Gesichtsfeld bestehen, wie schon erwähnt, kaum Unterschiede. Bei 30° und 45° sowohl im rechten, als auch im linken Gesichtsfeld ist die Variabilität geringer als bei einer Exzentrizität von 15°.

Die statistische Auswertung ergab folgendes:

EXZENTR.	SS	DF	MS	F	SIG OF F
RESID. SS	17244.640	102	169.065		
TOTAL	922.380	6	153.730	.909	.49143

Die Unterschiede sind also statistisch nicht signifikant.

Exzentr.	45°li	30°li	15°li	0°	15°re	30°re	45°re
Variabk.	13.55	14.65	17.23	20.67	17.10	15.50	15.66

Tab. 4b : Diese Tabelle ist eine Zusammenfassung von Tab. 4a, wobei hier unter jeder experimentellen Bedingung der Mittelwert der Variabilitätskoeffizienten aller Zeitintervalle gebildet wurde. Die größte Variabilität liegt bei direkter Fixation des Lichtreizes vor, die Geringste liegt dann vor, wenn der Lichtreiz 45° peripher vom Fixationspunkt auf der linken Seite dargeboten wird. Sowohl im Rechten, als auch im linken Gesichtsfeld ist die Variabilität am geringsten, wenn der Stimulus bei einer Exzentrizität von 15° dargeboten wird.

Variabilitätskoeff. (%)

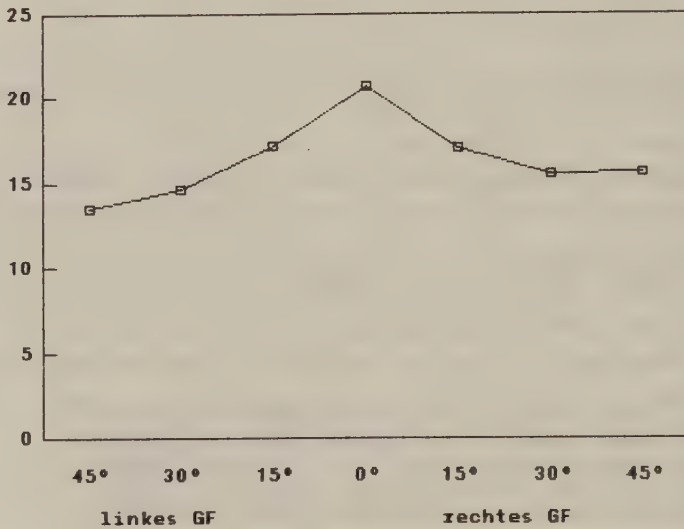


Abb. 10 : In dieser Abbildung sind auf der Abszisse die einzelnen retinalen Reizorte gegen die Variabilitätskoeffizienten (Ordinate) aufgetragen. Es handelt sich um die durchschnittlichen Variabilitätskoeffizienten aller 10 Zeitintervalle. Man sieht, daß die Variabilität bei Fixation am größten ist. An den anderen retinalen Reizorten ist sie etwas geringer, zwischen dem rechten und dem linken Gesichtsfeld bestehen in Bezug auf die Variabilität kaum Unterschiede.

3.4. Zusammenfassung der Ergebnisse

Es konnte gezeigt werden, daß bei der Reproduktion der Dauer eines Lichtreizes der retinale Ort, an dem der Lichtreiz dargeboten wird, einen Einfluß darauf hat, wie die Dauer dieses Lichtreizes eingeschätzt wird. Die Unterschiede bestehen, was anhand des Zeitschätzfehlers gezeigt werden konnte, in einem Überschätzen der sehr kurzen Intervalle bei Reizpräsentation im rechten Gesichtsfeld, im Gegensatz zum linken Gesichtsfeld und bei direkter Fixation. Ein direkter Vergleich zwischen dem rechten und dem linken Gesichtsfeld zeigte, daß, bezüglich dieses Zeitschätzfehlers, statistisch signifikante Unterschiede zwischen den beiden Gesichtsfeldseiten bestehen.

Quantitativ bestehen hinsichtlich des Schätzfehlers keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den verschiedenen experimentellen Bedingungen.

Die Variabilität bei der Zeitlängenschätzung ist ebenfalls vom retinalen Ort unabhängig.

4. Diskussion

In dieser Untersuchung sollte geklärt werden, ob die Dauer kurzer, visuell dargebotener Reize gleich oder, bedingt durch die Inhomogenität der Retina, verschieden eingeschätzt wird. Es wurde dabei die Zeitreproduktionsmethode verwandt, die Lichtreize wurden foveal, sowie 15° , 30° und 45° in der Peripherie präsentiert. Es stellte sich heraus, daß die Reize im rechten Gesichtsfeld anders reproduziert werden, als im linken Gesichtsfeld oder bei Fixation der Lichtreize.

Ein Vergleich der reproduzierten Zeit mit den jeweiligen Stimulusintervallen ergab, daß die kürzeren Zeitintervalle von 0.5 bis 2.0 Sekunden an allen retinalen Orten im rechten Gesichtsfeld überschätzt werden; wenn die Zeitlängenschätzung in der Blicklinie oder im linken Gesichtsfeld durchgeführt wird, werden diese Intervalle dagegen unterschätzt. In Bezug auf den absoluten Zeitschätzfehler und die Variabilität bestehen allerdings zwischen den Reizorten keine signifikanten Unterschiede. Man findet also bei der Einschätzung kurzer Zeitintervalle einen qualitativen Unterschied zwischen dem rechten Gesichtsfeld gegenüber dem linken Gesichtsfeld und der Blicklinie. Wie kann dieser Befund interpretiert werden?

Ausgehend von der inhomogenen Struktur der Retina, wie sie einleitend beschrieben wurde, hätte es nicht überrascht, wenn in diesem Experiment Unterschiede in Abhängigkeit von fovealer oder peripherer Darbietung

der Lichtreize aufgetreten wären. Da man jedoch zwischen Reizdarbietung im linken Gesichtsfeld und in der Blicklinie keine signifikanten Unterschiede findet, muß man annehmen, daß hier ein Mechanismus vorliegt, der die strukturellen Unterschiede der Retina kompensiert. Dieser Kompensation könnte ein Mechanismus zugrundeliegen, der zuerst von Pöppel und Harvey (1973) und später von Zihl et al. (1980) bei der Helligkeitswahrnehmung vorgeschlagen wurde. Im Gegensatz zur Licht-Unterschiedsschwelle, die - worauf in der Einleitung schon hingewiesen wurde - als Funktion der retinalen Exzentrizität variiert, ist die Helligkeitswahrnehmung im Gesichtsfeld konstant und damit von der Licht-Unterschiedsschwelle unabhängig.

Die Autoren entwickelten ein neurophysiologisches Modell, daß später experimentell überprüft wurde (Roenneberg und Pöppel, 1985). Als Erklärung wurde angenommen, daß die Entladungsfrequenz retinaler Ganglienzellen positiv mit der Helligkeit korreliert ist. Weiterhin wurde postuliert, daß die Summation nicht-linear ist und von der Exzentrizität abhängt. Eine solche Exzentrizitäts-Abhängigkeit des retinalen Summations-Verhaltens könnte eine Homogenität zumindest bei der Helligkeitswahrnehmung bewirken.

Sofern man unterstellt, daß zwischen Zeitwahrnehmung und dem Entladungsverhalten retinaler Ganglienzellen eine Beziehung besteht, könnte mit dem Phänomen der Summation vielleicht auch erklärt werden, warum in diesen Zeitreproduktionsexperimenten zwischen der Fovea und dem linken Gesichtsfeld keine Unterschiede gefunden wurden.

Überraschend ist nun allerdings der in diesem Experiment auftretende Unterschied zwischen dem rechten und dem linken Gesichtsfeld bezüglich der Bewertung kurzer Lichtreize. Wenn sie im rechten Gesichtsfeld präsentiert werden, scheinen die Lichtreize länger zu dauern, was auch eine Verlängerung des Indifferenzintervalls, also des Bereich der subjektiven Gegenwart bedingt. Es muß betont werden, daß "Zeit" hier tatsächlich anders erfahren wird, was man daran sieht, daß im Hinblick auf den Schätzfehler und die Variabilität, keine Unterschiede zwischen dem rechten und dem linken Gesichtsfeld bestehen. Nach den vorangehenden Erläuterungen können die Unterschiede nicht auf der Ebene der Retina erklärt werden. Vielmehr muß man annehmen, daß diese Unterschiede auf kortikaler Ebene entstehen, da aufgrund des Verlaufs der zentralen Sehbahn das gesamte rechte Gesichtsfeld in die linke Hemisphäre projiziert wird.

Nun ist bei der Interpretation der Versuchsergebnisse zu berücksichtigen, daß die Reaktion auf die Lichtreize immer mit der rechten Hand erfolgte, was auf das Ergebnis einen Einfluß haben könnte. In Reaktionszeitexperimenten, in denen man damit befaßt war herauszufinden, ob Präsentation des Stimulus ipsi-, oder kontralateral zu der reagierenden Hand einen Einfluß auf die Reaktionszeit hat, kam man zu widersprüchlichen Ergebnissen. Nach Poffenberger (1912) und Smith (1938) reagiert die rechte Hand schneller auf Stimuli, die im rechten Gesichtsfeld präsentiert werden, und die linke Hand schneller auf solche im linken Gesichtsfeld. Sie erklärten das

damit, daß die Bewegungen jeder Hand größtenteils vom kontralateralen Motorkortex kontrolliert werden. Demnach sollte die Reaktion auf visuelle Stimuli der Hand im ipsilateralen Gesichtsfeld (direkte Reaktion) innerhalb einer Hemisphäre integriert werden, wohingegen die Reaktion auf visuelle Stimuli im kontralateralen Gesichtsfeld die koordinierte Aktivität des visuellen Kortex der einen Hemisphäre und des Motorkortex der anderen erfordert (indirekte Reaktion). Da kein neuronaler Weg zwischen dem visuellen Kortex der einen und dem Motorkortex der anderen Gehirnhälfte bekannt ist, benötigt der neuronale Weg, der den indirekten Reaktionen dient, wenigstens eine Synapse mehr.

Diese, an strukturellen Bedingungen orientierten Überlegungen machen allerdings deutlich, daß der damit verbundene Zeitunterschied (nämlich nur wenige Millisekunden), wahrscheinlich so gering ist, daß die hier auftretenden Unterschiede damit nicht erklärt werden können.

Die Erklärung für die beobachteten Unterschiede liegt also wohl darin, daß "Zeit" von den beiden Hemisphären unterschiedlich bewertet wird.

An dieser Stelle sei auf eine Arbeit von J. Ilmberger (1983) hingewiesen. Er führte mit Patienten, bei denen entweder die linke oder die rechte Gehirnhälfte, etwa infolge eines Schlaganfalles, eine Verletzung erlitten hatte, sowie mit einer Gruppe von gesunden Probanden, ein Zeitschätzexperiment durch. Aufgabe der Patienten und Probanden war es, die Dauer eines

visuellen Stimulus zu reproduzieren, wobei die Länge der Intervalle zwischen 0.5 und 10.0 Sekunden lag. Die Versuchsbedingungen dieses Experiments entsprechen also in etwa denen meines Experiments, wenn der Lichtreiz foveal dargeboten wird. Die Ergebnisse von Ilmbergers Experiment sind deshalb von Interesse, weil man hier sehen kann, ob die unterschiedliche Erfahrung der beiden Hemisphären von Dauer, unter pathologischen Bedingungen noch deutlicher wird. Es zeigte sich, daß der Schätzfehler bei beiden Patientengruppen größer war, als bei den gesunden Kontrollpersonen. Die Patientengruppen unterschieden sich, wenn man den Trend zum Über- oder Unterschätzen betrachtet, aber auch: So überschätzten die Versuchspersonen der Kontrollgruppe und die Patienten mit Läsionen der rechten Hemisphäre nur die Intervalle bis maximal 4.5 Sekunden. Ein beträchtlicher Teil der Patienten mit Läsionen der linken Hemisphäre überschätzt jedoch auch die längeren Intervalle. "Dies deutet auf eine Verlangsamung der zugrundegelegten Oszillation, beziehungsweise eine Verlängerung des internen Referenzintervalls hin (Richards, 1964)." Unter pathologischen Bedingungen ist also, die in meinem Experiment bei Gesunden beobachtbare Verlangsamung der linken Hemisphäre noch verstärkt.

Beweise für die Hemisphärenspezialisierung, wonach jede der getrennten Hemisphären des Gehirns ein völlig verschiedenes Bewußtsein kontrolliert, wurden von Biologen, z.B. Taylor (1958), schon Mitte des 20. Jahrhunderts vorgelegt. Eine Anzahl heutiger Wissenschaftler und Philosophen (z.B. Ornstein, 1973;

Tart, 1969; Polanyi, 1958; Galin, 1976; Sperry, 1968 und Gazzaniga, 1967), spricht ebenfalls von diesen unterschiedlichen kognitiven Stilen. Der Typus der im modernen Denken vorherrscht wird üblicherweise als "logisch" oder "rational" bezeichnet, der andere wird "intuitiv" oder "rezeptiv" genannt. Diese unterschiedlichen Modi des Wissens oder des Erlebens scheinen Bezug zu unabhängigen Sphären des Bewußtseins zu haben, von denen jede unter der Kontrolle einer anderen Gehirnhälfte steht. Die klinischen und experimentellen Ergebnisse zeigen auch, daß man den beiden Hemisphären ganz bestimmte eigene Funktionen zuordnen kann. So enthält die linke Hemisphäre die Sprachregionen, weshalb sie lange Zeit als die dominante Hemisphäre angesehen wurde (Broca, 1861); sie ist also die Gehirnhälfte, die mit zeitlich strukturiertem Material besser umgeht. Die rechte Hemisphäre kann sich nicht verbal äußern, allerdings besitzt sie räumliche und taktile Formerkennung und Abstraktionsvermögen (Schwartz, Davidson, Maer, und Bromfield, 1973); aufgrund dieser Eigenschaften wird sie als holistisch bezeichnet.

Die Ergebnisse dieses Experiments geben zwar keine Hinweise auf die Überlegenheit einer Hemisphäre in Bezug auf die Zeitschätzung, was sich in der Genauigkeit, mit der Zeit wahrgenommen wird, wiedergespiegelt hätte. Allerdings zeigen sie einen qualitativen Unterschied im Hinblick auf die Verarbeitung zeitlich strukturierter Reize. Dieser qualitative Unterschied, der sich in so vielen Bereichen der Wahrnehmung, der Kognition und der

Emotionen bestätigt kann einen zur Abwandlung des bekannten Goethe-Wortes verführen:

"Zwei Seelen wohnen, ach! In meinem Kopf."

5. Zusammenfassung

In zahlreichen Untersuchungen wurde festgestellt, daß die Empfindlichkeit der Netzhaut, was das räumliche und das zeitliche Auflösungsvermögen betrifft, nicht an allen Stellen gleich ist. Diese psychophysischen Beobachtungen korrelieren mit der Verteilung von Rezeptoren und Ganglienzellen in der Retina.

In dieser Untersuchung sollte nun die Frage geklärt werden, wie eigentlich der Ablauf der Zeit selbst in Abhängigkeit von der retinalen Exzentrizität eingeschätzt wird. Werden Ereignisse, die an verschiedenen Stellen im Gesichtsfeld erscheinen in einen zeitlichen Rahmen eingebettet, oder hat jeder Ort der Retina seine eigene Zeit?

Es zeigte sich, daß Lichtreize, deren Dauer reproduziert werden sollte, länger erscheinen, wenn sie im rechten Gesichtsfeld präsentiert werden. Da aus anatomischen Gründen das rechte Gesichtsfeld in die linke Hemisphäre projiziert wird, deutet dieser Befund darauf hin, daß "Zeit" von den beiden Hemisphären unterschiedlich bewertet wird: Die zeitliche Integration scheint in der linken Gehirnhälfte ein größeres Zeitintervall zu umspannen, was sich in einer Verlängerung des Indifferenzintervalls ausdrückt.

6. Literatur

Augustinus
Confessiones
Buch 11: 397 / 398

Aulhorn, E. Harms, H. (1972)
Visual perimetry
Jameson, D., Hurvich, L.M. (Eds.) Handbook of sensory
physiology, Vol. VII / 4: Visual psychophysics.
Springer: Berlin - Heidelberg - New York : 102 - 145

Bergson, H. (1920)
Essai sur les données immédiates de la conscience
Alcan, 19th Ed.

Broca, P. (1861)
Remarks on the seat of the faculty of articulate
language, followed by an observation of aphemia
In G. v. Bonin (Ed.), Some papers on the cerebral
cortex, Springfield, III.: Thomas

Clausen, J. (1950)
An evaluation of experimental methods of time
estimation
J. Exp. psychol. 40: 756 - 761

Clay, J. (1890)
The principles of psychology (in W. James zitiert)
Vol. I New York: Henry Holt

Elias, N. (1984)
Über die Zeit
Suhrkamp: Frankfurt am Main: 17 - 1

Fraisse, P. (1964)
The psychology of time
London: Eyre & Spottiswoode

Guyau, M. (1890)
La genèse de l'idée de temps
Paris: Alcan

Hirsh, I. J. & Sherrick, C. E. (1961)
Perceived order in different sense modalities
J. Exp. Psychol: 423 - 432

Hoagland, H. (1933)
The physiological control of judgements of duration:
evidence for a chemical clock
J. gen. Psychol. Vol. 9: 267 - 87

Hull, C. H. & Nie, N. H. (1981)
SPSS Update 7 - 9. New Procedures and Facilities for
Releases 7 - 9
Mc Graw Hill: New York: 51

Ilmberger, J. (1983)
Zur Zeitwahrnehmung von Hirnverletzten Patienten
Inaugural-Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades
der Philosophie an der Ludwig-Maximilians-Universität
zu München: 70

James, W. (1890)
The principles of psychology
New York: Henry Holt Vol. I

Kant, I. (1788)
Kritik der praktischen Vernunft
Literal Arts Press, 1956

Kruup, K. (1961)
Influence of method on time judgements
Austr. J. Psychol. 13: 44 - 53

Fraisse, P., Bonnet, C., Geley, N., Michau, G. (1962)
Vergleich der Zeitschätzungsmethoden
Ztschr. Psychol. 167: 268 - 277

Frisen, L. und Glansholm, A. (1975)
Optical and neural resolution in peripheral vision
Invest. Ophthalmol. 14: 528 - 536

Galin, D. (1976)
Two modes of consciousness and two halves of the brain
In Lee, P.R., Ornstein, R.E., Galin, D., Deikman, A. &
Tart, C.T. (Eds.), Symposium on consciousness (1717
AS, 1974)
New York: Viking

Gardner, W.A. (1935)
The influence of the thyroid gland on the
consciousness of time
Amer. J. Psychol., Vol. 47 : 698 - 701

Gazzaniga, M.S. (1967)
The split brain in man
Scientific American, 217: 24 - 29

Gilliland, A.R., & Humphreys, D.W. (1943)
Age, sex, method and interval as variables in time
estimation
J. genet. Psychol. 63: 123 - 130

van de Grind, W.A., Grüsser, O.J. und Linkenheimer,
H.U. (1972)
Temporal transfer properties of the afferent visual
system
Psychophysical neurophysiological and theoretical
investigations. Handb. Sens. Phys.
VII / 3A, Hrsg: Jung Springer, Berlin: 433 - 573

Locke, J. (1689)

An essay concerning human understanding

Dover edn. 1959

Mach, E. (1865)

Untersuchungen über den Zeitsinn des Ohres

Sitzungsberichte der mathem. -
naturwissenschaftlichen Classe der kaiserl. Akademie
der Wissenschaften 51, II Abt. Heft 1 - 5: 133 - 150

Michon, J.A. (1970)

Processing of temporal information and the cognitive
theory of time experience

Studium Generale, 23: 249 - 265

Newton, I. (1664)

Mathematical principles of natural philosophy

In: J.J.C. Smart (Ed.), Problems of space and time.
New York

Ochberg, F.M., Pollack, I.W., Meyer, E. (1965)

Reproduction and estimation methods of time
judgements

Perc. and motor skills 20: 653 - 656

Ornstein, R.E. (1969)

On the experience of time

In Penguin Books Ltd. Harmondsworth Middlesex,
England

Ornstein, R.E. (1973)

The nature of human consciousness

San Francisco: W.H. Freeman

Østerberg, G. (1935)

Topography of the layer of rods and cones in the human
retina

Acta optal., Suppl. 6 - 12: 11 - 96

Poffenberger, A.T. (1912)
Reaction time to retinal stimulation with special
reference to the time lost in conduction through
nerve centers
Arch. Psychol., 23: 1 -73

Pöppel, E. (1972)
Oscillations as a possible basis for time perception
In J.T. Fraser, F.C. Huber und G.H. Müller (Eds.) The
study of time, Springer Berlin: 219 - 241

Pöppel, E. und Harvey, Lewis o. Jr. (1973)
Light-difference threshold in the periphery of the
visual field
Psychol. Forschung 36: 145 - 161

Pöppel, E., v.Cramon, D., Backmund, H., (1975)
Eccentricity-specific dissociation of visual func-
tions in patients with lesions of the central visual
pathways
Nature, Vol. 256, Nr. 5517: 489 - 490

Pöppel, E. (1978)
Time perception
In R. Held, Leibowitz, H.W. und Teuber, H.L. (Eds.),
Handbook of sensory physiology, Vol. VIII, Berlin -
Heidelberg - New York Springer: 713 - 729

Pöppel, E. (1985)
Grenzen des Bewußtseins: Über Wirklichkeit und
Welterfahrung
Stuttgart: Deutsche Verlagsanstalt

Polanyi, M. (1958)
Personal knowledge. Toward a post-critical philosophy
Chicago: University of Chicago Press

Richards, W. (1964)

Time estimates measured by reproduction
Perceptual & motor skills 18: 929 - 943

Roenneberg, T. und Pöppel, E. (1985)

Topographical distribution of the summation property
of Y-ganglion cells in the cat retina
Exp. brain Res. 59: 1 - 9

Schwartz, G.E., Davidson, R.J., Maer, F. und
Bromfield, E. (1973)

Patterns of hemispheric dominance in musical,
emotional, verbal, and spatial tasks
Paper read at the meetings of the Society of
psychophysiological research
Texas: Galveston

Senders, J.W., Webb, I.B., Baker, C.A. (1955)

The peripheral viewing of dials
J. appl. Psychol. 39: 433 - 436

Smith, F.O. (1938)

An experimental study of the reaction time of the
cerebral hemispheres in relation to handedness and
eyedness
J. exp. Psychol., 22: 75 - 83

Sperry, R.W. (1968)

Hemisphere disconnection and unity in conscious
awareness
American psychologist, 23: 723 - 733

Sturt, M. (1925)

The psychology of time
London: Kegan Paul

Tart, C.T. (1969)

Altered states of consciousness. A book of readings
New York: Wiley

Taylor, J. (1958)
Selected writings of John Hughlings Jackson
New York: Basic Books

Treisman, M. (1963)
Temporal discrimination and the indifference
interval: Implications for a model of the internal
clock.
Psychol. Monog. Nr. 576 Vol. 77, 13

Vroon, P. A. (1970)
Effects of presented and processed information on
duration experience
Acta Psychol. 34: 115 - 121

Vierrodt, K. (1868)
Der Zeitsinn nach Versuchen
Tübingen: H. Laupp

Weber, P. S. (1965)
A time perception task
Perc. and motor skills 21: 863 - 866

Wertheim, Th. (1884)
Über die indirekte Sehschärfe
Zeitschr. f. Psychol. & Physiolog. Sinnesorg. 7: 172
- 189

Woodrow, H. (1951)
Time perception
in S. S. Stevens (ed.): Handbook of experimental
psychology
Wiley: New York

Zihl, J., Lissy, P. und Pöppel, E. (1980)
Brightness perception in the visual field
Psychol. Res. 41: 299

Curriculum vitae

Name: Annette Hollmann
geboren: 13.10.1956 in Spellen
Eltern: Josef-Gerhard Hollmann, Dipl. Ing. und
Käthe Sofie Hollmann, geb. Jungmann,
Hausfrau
1963-1966 Besuch der Volksschule, Hedemünden
1966-1974 Besuch der Rudolf-Steiner Schule, München
1974-1976 Besuch des Privaten Gymnasiums Dr. Merz,
München
1976 Abitur am Rupprecht-Gymnasium, München
1976-1984 Studium der Biologie, Ludwig-Maximilians-
Universität, München
seit 1982 Wissenschaftliche Mitarbeiterin am
Institut für Medizinische Psychologie,
München, Vorstand. Prof. Dr. E. Pöppel
1982-1984 Diplomandin am Institut für Medizinische
Psychologie, München, Vorstand. Prof. Dr.
E. Pöppel
1984 Diplom Biologie
1984-1985 Doktorandin am Institut für Medizinische
Psychologie, München, Vorstand. Prof. Dr.
E. Pöppel

